



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Volumen II

Anexos

PROYECTO FINAL DE CARRERA

“Sistema de control mediante microcontrolador: Sistema de riego automático”

PFC presentado para optar al título de Ingeniería
Técnica Industrial especialidad en Electrónica
Industrial

por **Jordi Fernández López**

Barcelona, 17 de Junio de 2010

Tutor proyecto: Robert Piqué López
Departamento de Ingeniería Electrónica (DEEL)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Anexos

“Sistema de control mediante microcontrolador: Sistema de riego automático”

PFC presentado para optar al título de Ingeniero
Técnico Industrial especialidad en Electrónica
Industrial
por **Jordi Fernández López**

Barcelona, 17 de Junio de 2010

Tutor proyecto: Robert Piqué López
Departamento de Ingeniería Electrónica (DEEL)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDICE ANEXOS

Índice anexos.....	1
Anexo I. Código de programación.....	2
Anexo II. Algoritmos de programación	3
Anexo III. Formulas empleadas en el proyecto	20
Anexo IV. Tablas K_c	24

ANEXO I.

CÓDIGO DE

PROGRAMACIÓN

El código de programa del microcontrolador se encuentran en la documentación en formato electrónico en la unidad de lectora del CD-ROM:\Final\Final\main.c . El código se encuentra comentado para una mejor compresión del mismo. Es aconsejable previa descarga del software PSoC Designer de la referencia [9] para poder entender mejor el conexionado de los módulos utilizados.

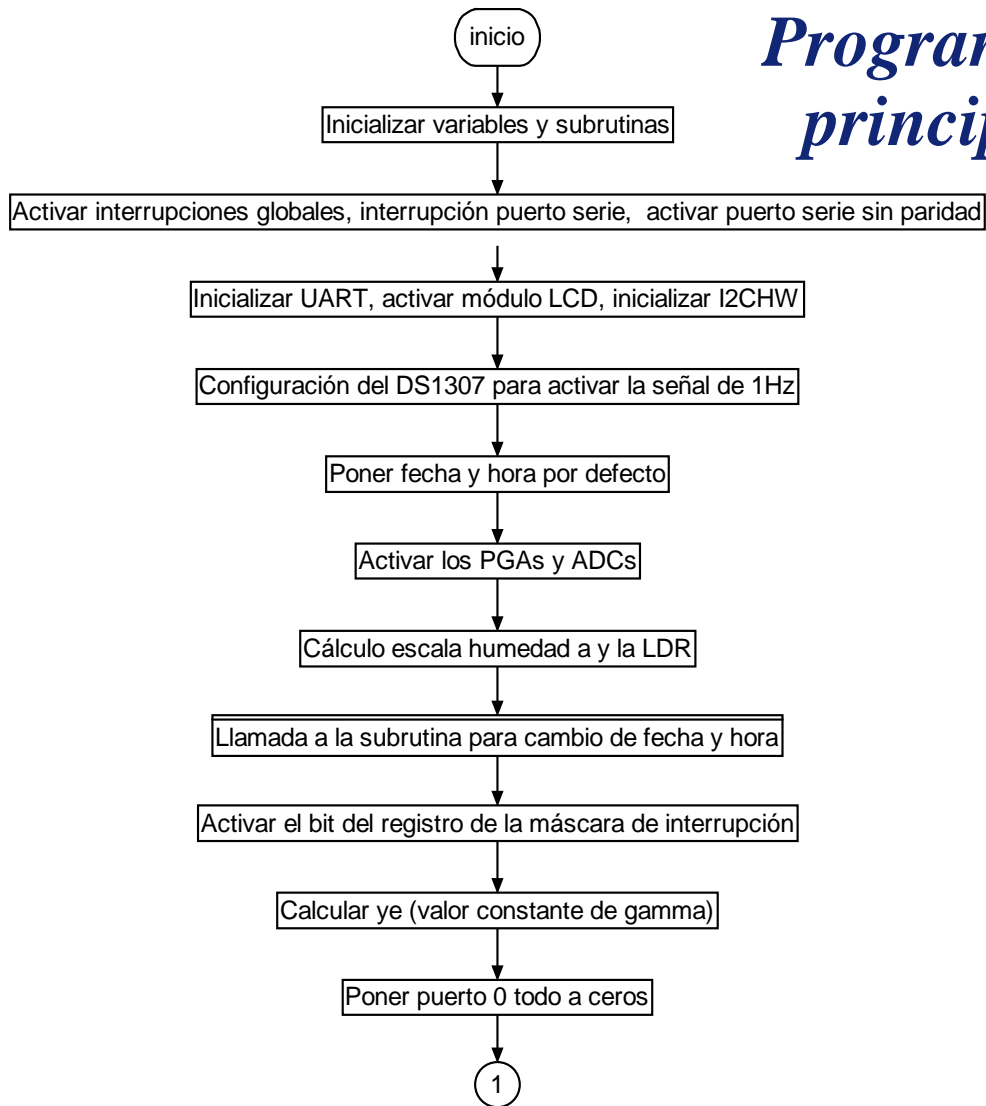
También se encuentra en la documentación electrónica el código del programa en *visual basic*, en la unidad lectora de CD-ROM:\Final_v2\Codigo vb.docx

ANEXO II.

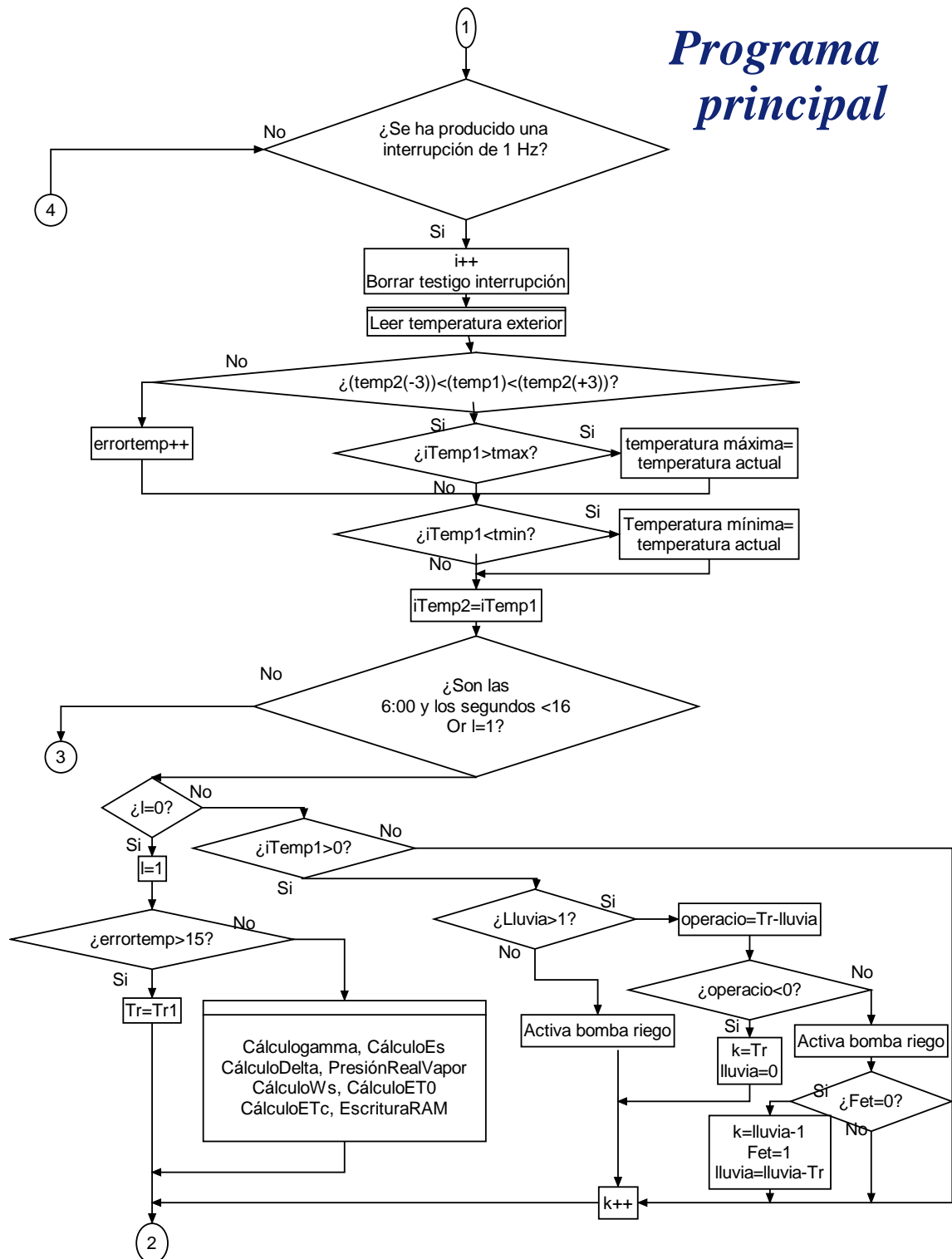
ALGORITMOS DE

PROGRAMACIÓN

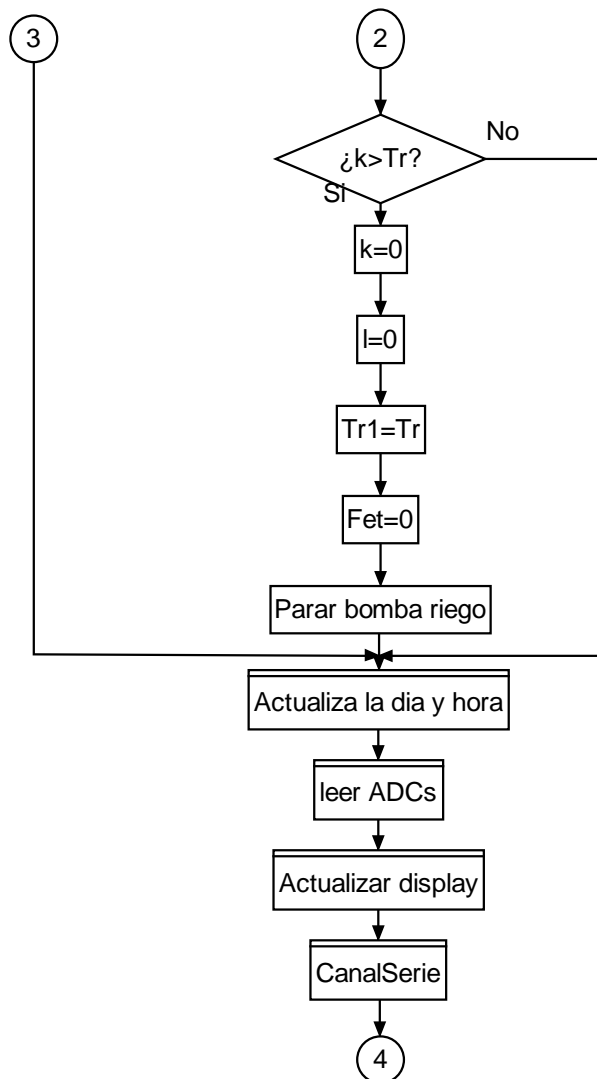
Programa principal



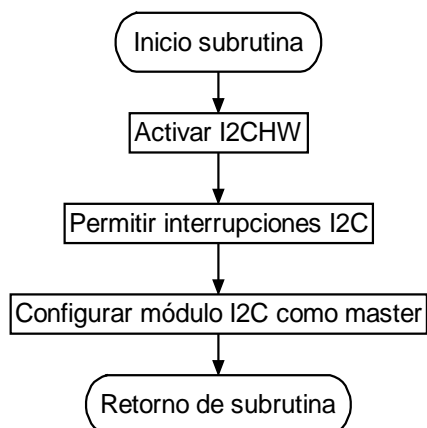
Programa principal



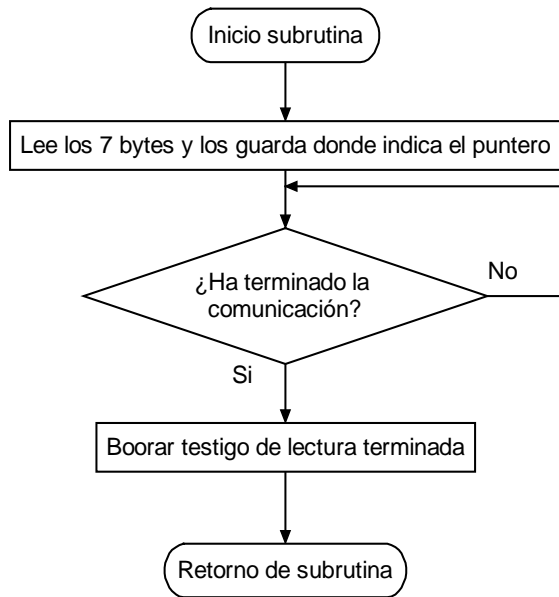
Programa principal



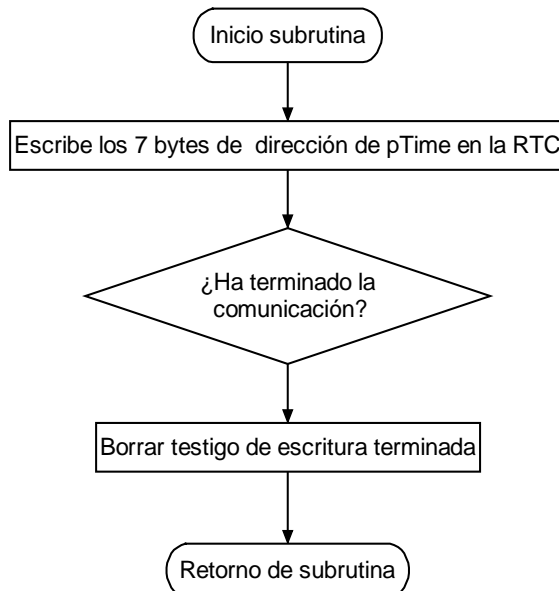
Subrutina I2C_Init



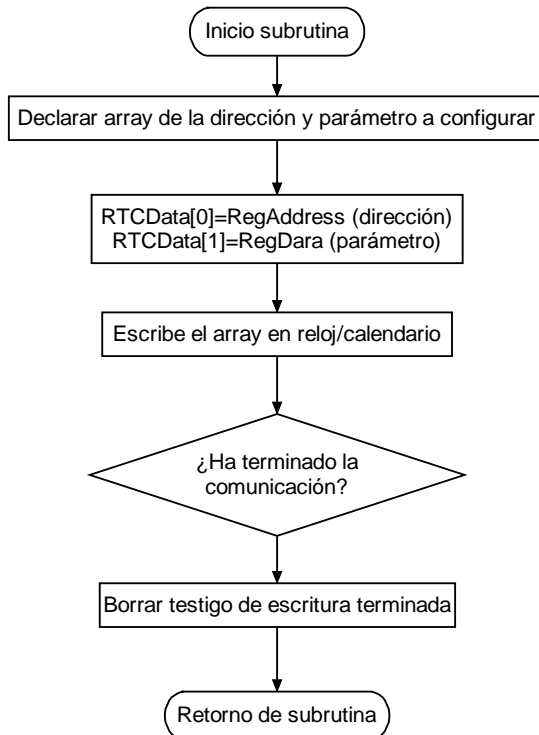
Subrutina RTC_ReadTime



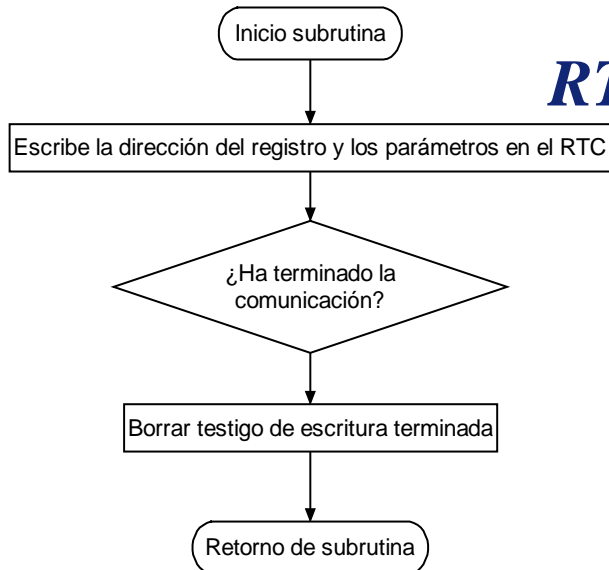
Subrutina RTC_SetTime



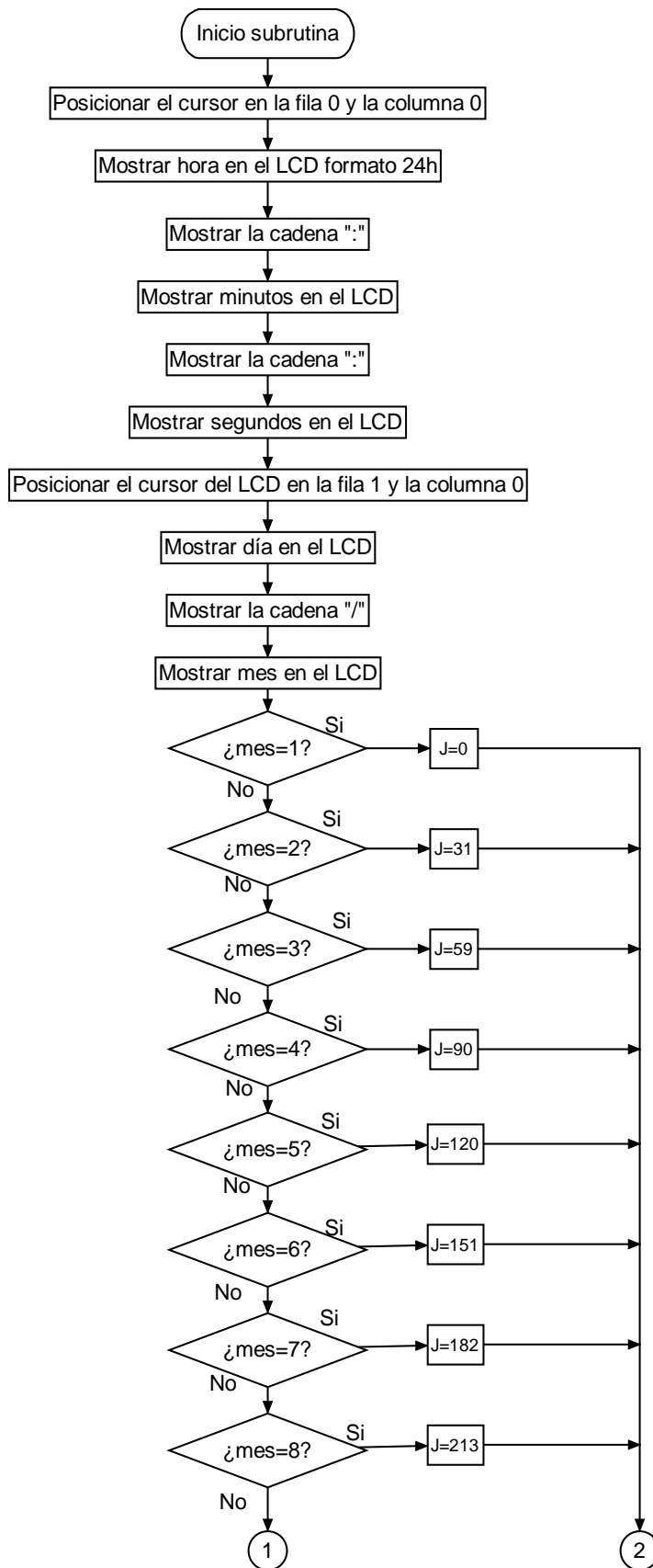
Subrutina *RTC_WriteReg*



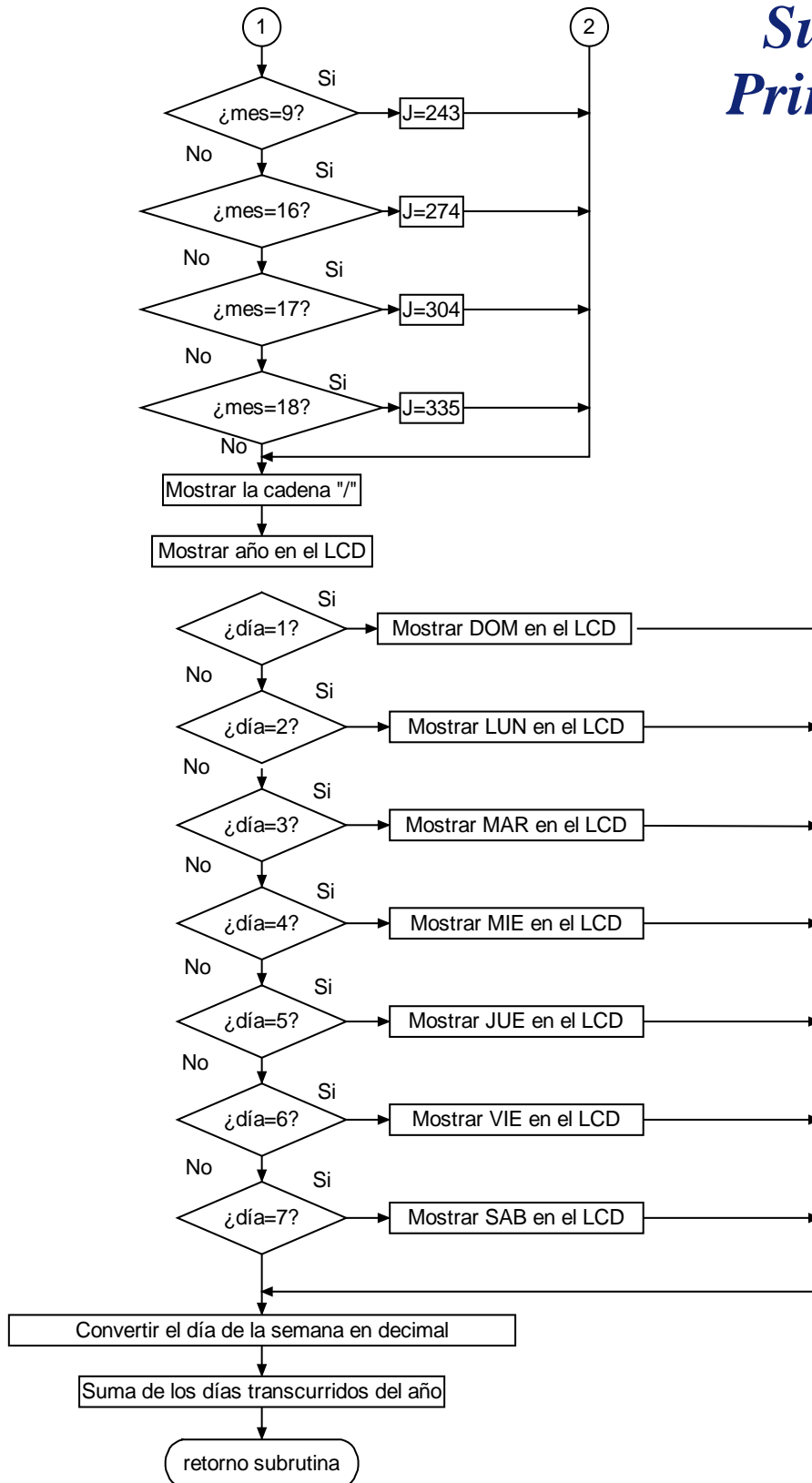
Subrutina *RTC_SetRegAddress*



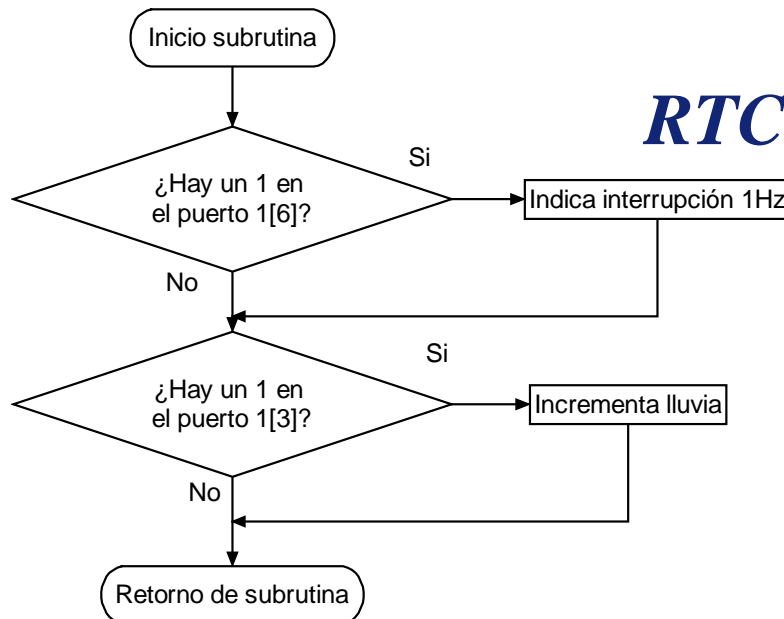
Subrutina Print_Time



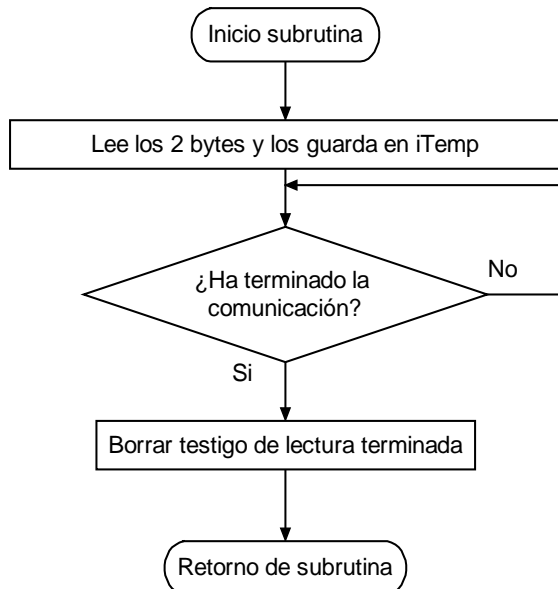
Subrutina Print_Time



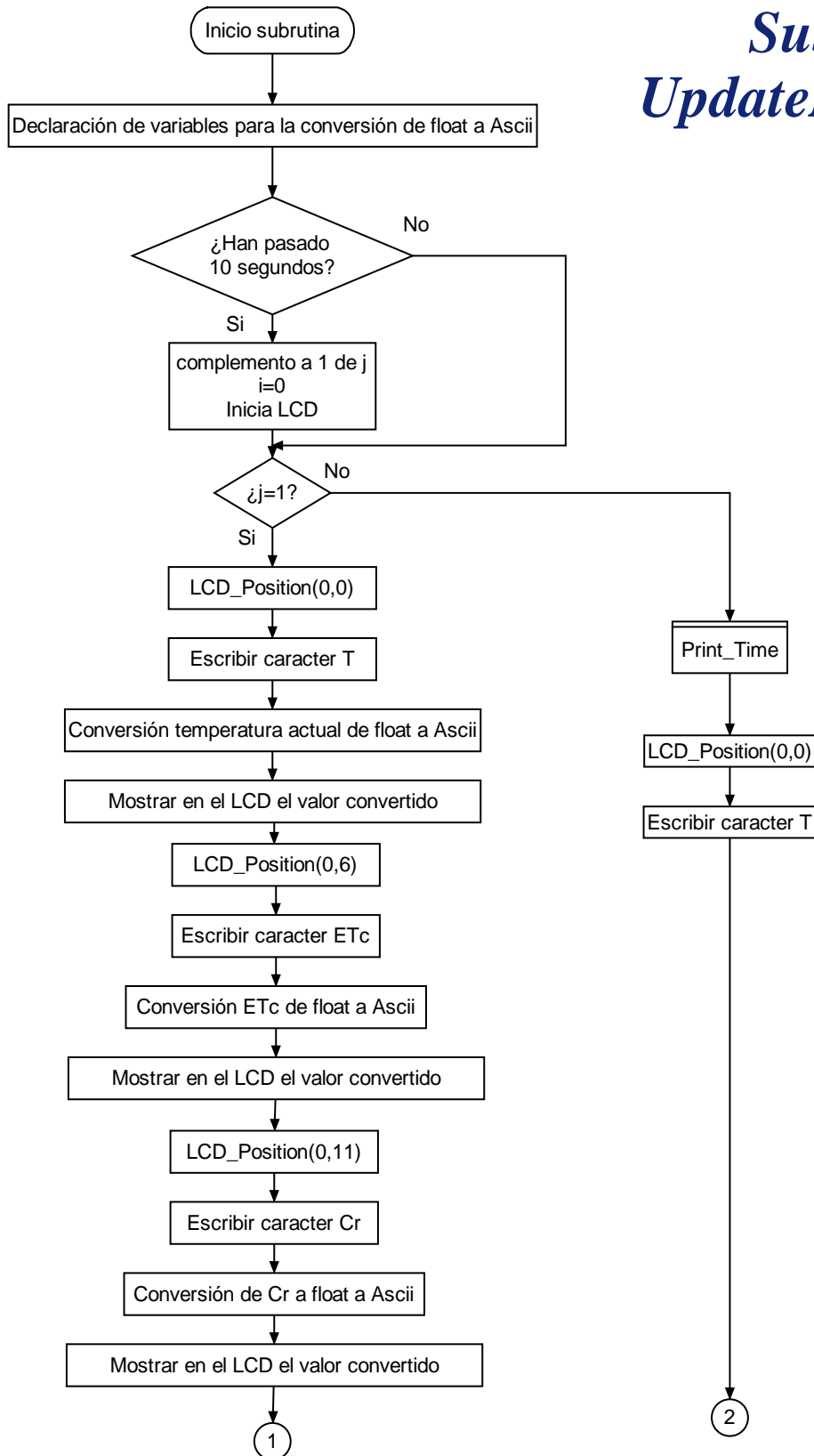
Subrutina RTC_Read_ISR



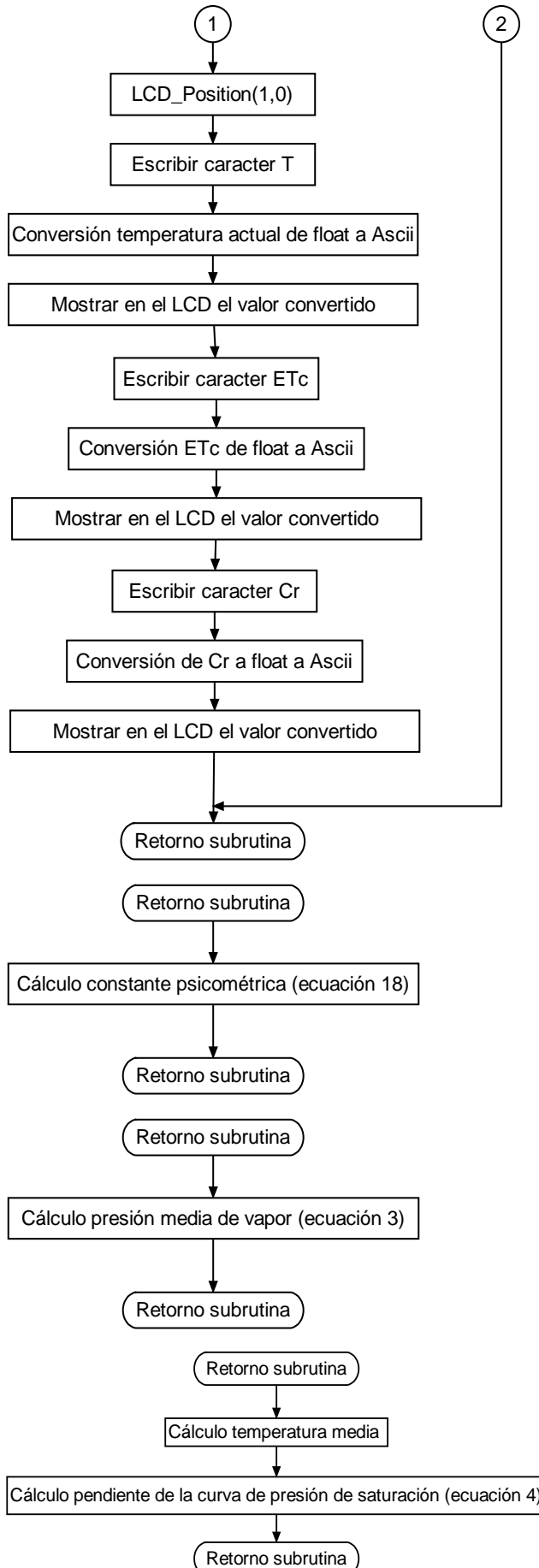
Subrutina ReadTemp



Subrutina UpdateDisplay



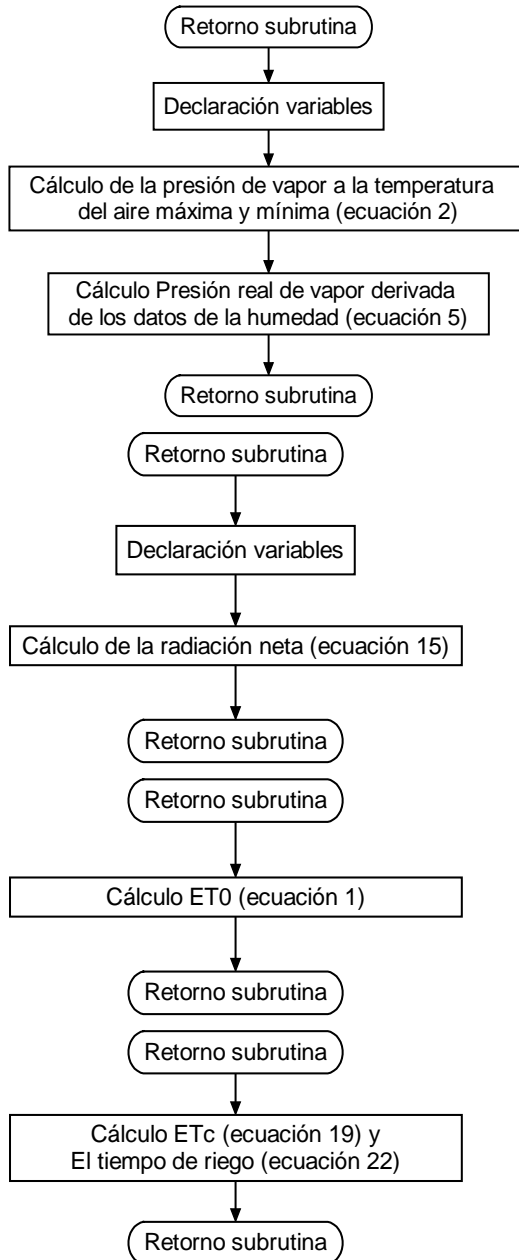
Subrutina UpdateDisplay



Subrutina CálculoGamma

Subrutina CálculoEs

Subrutina CálculoDelta



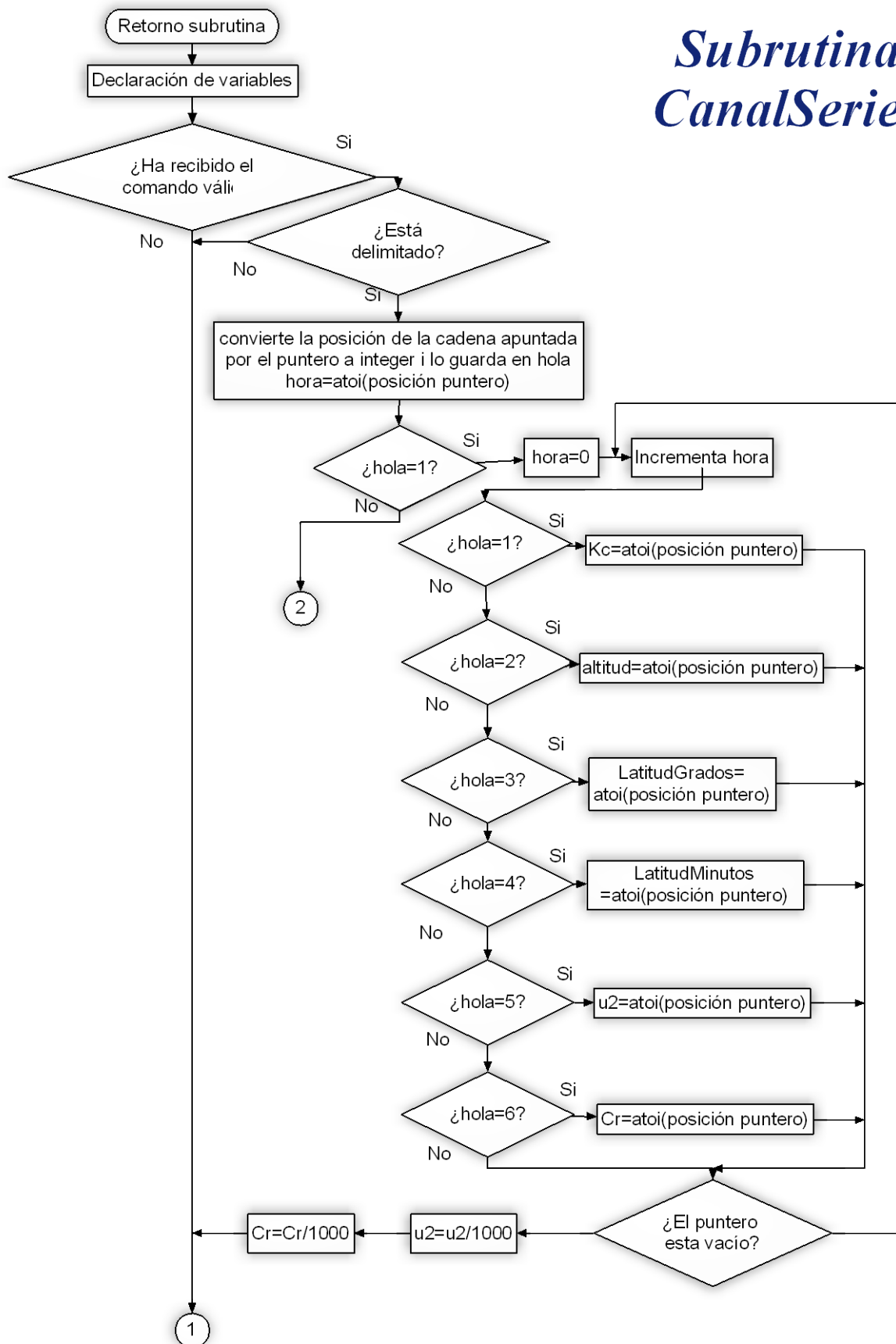
*Subrutina
PresiónRealVapor*

*Subrutina
CálculoWs*

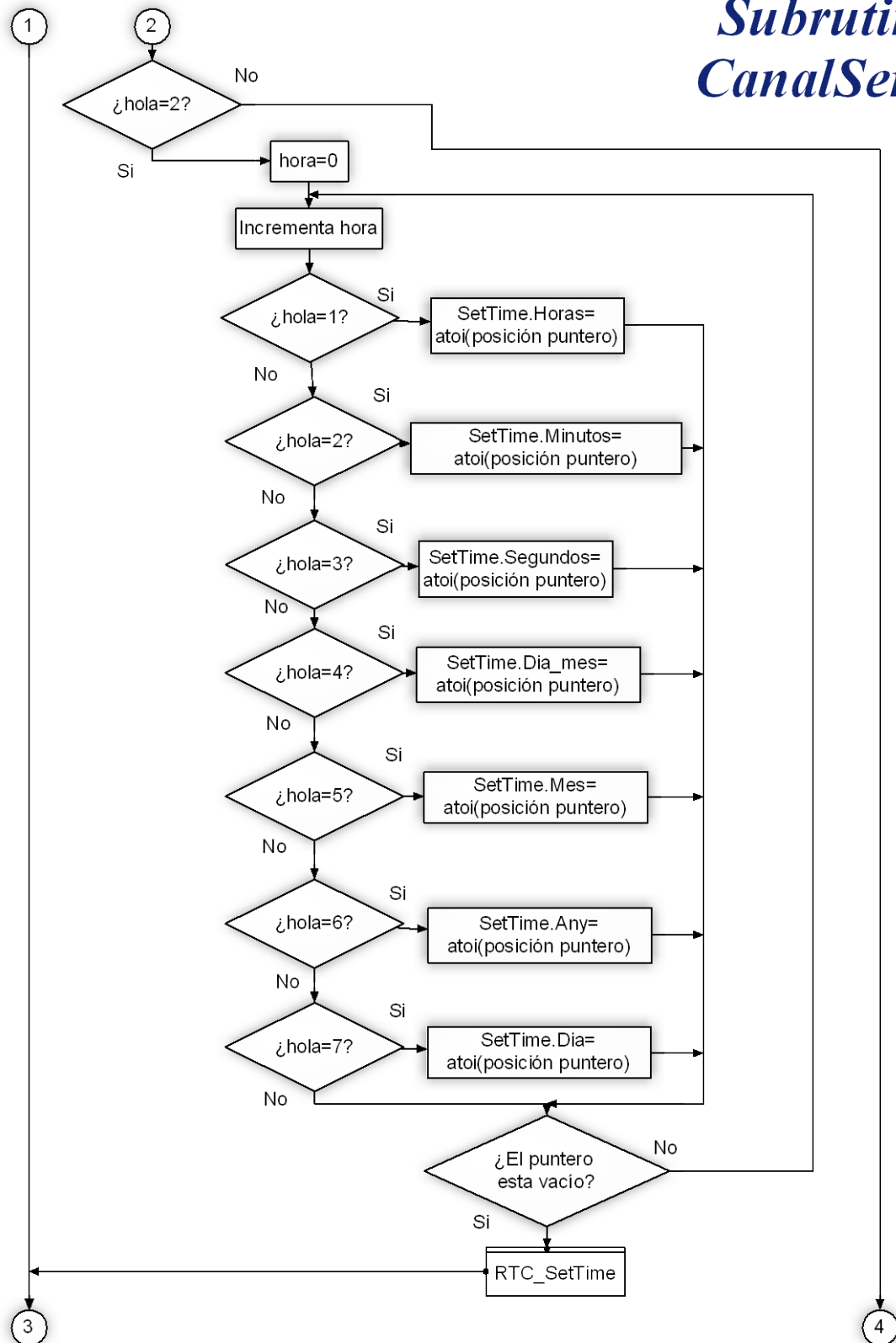
*Subrutina
CálculoET0*

*Subrutina
CálculoETc*

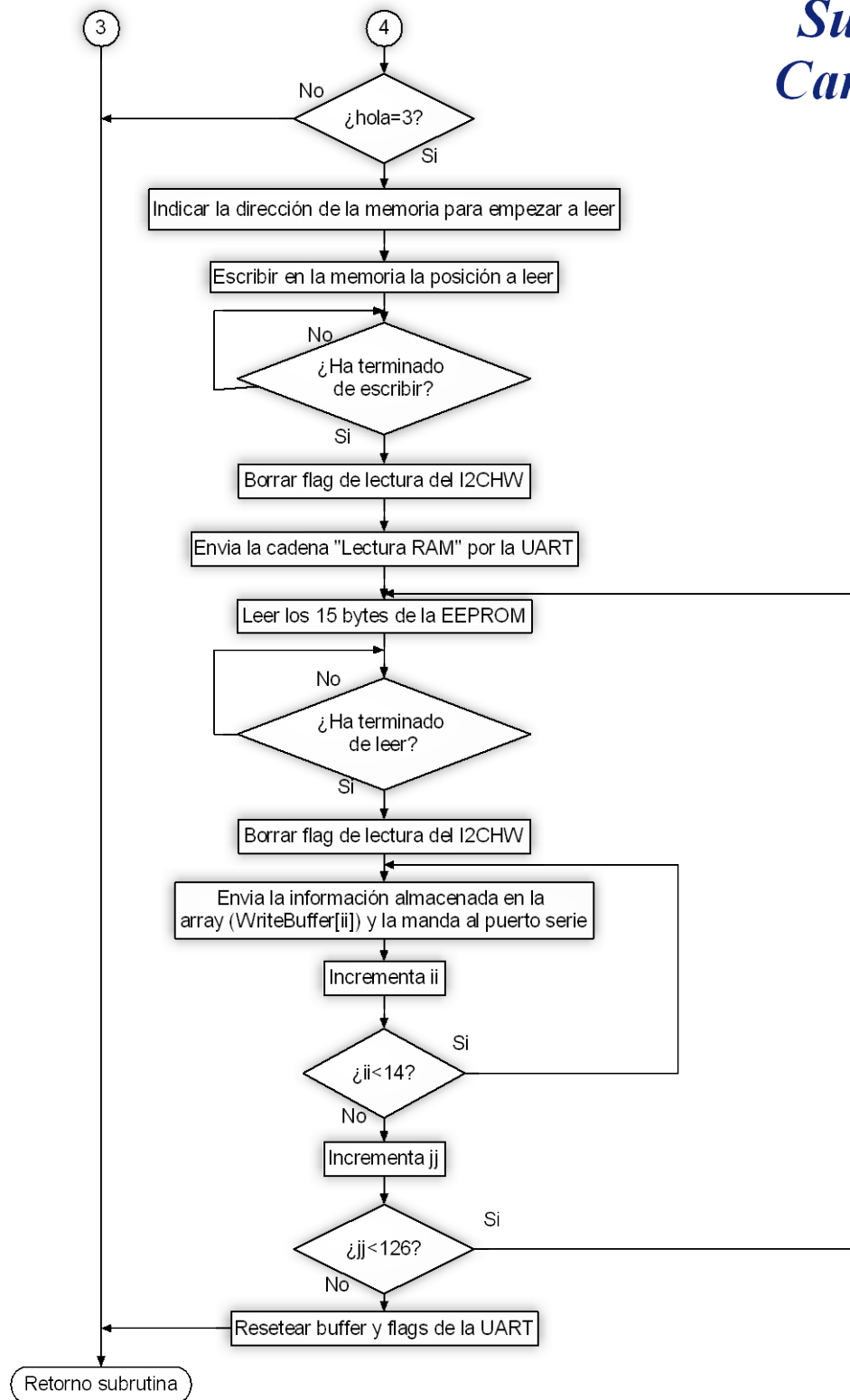
Subrutina CanalSerie



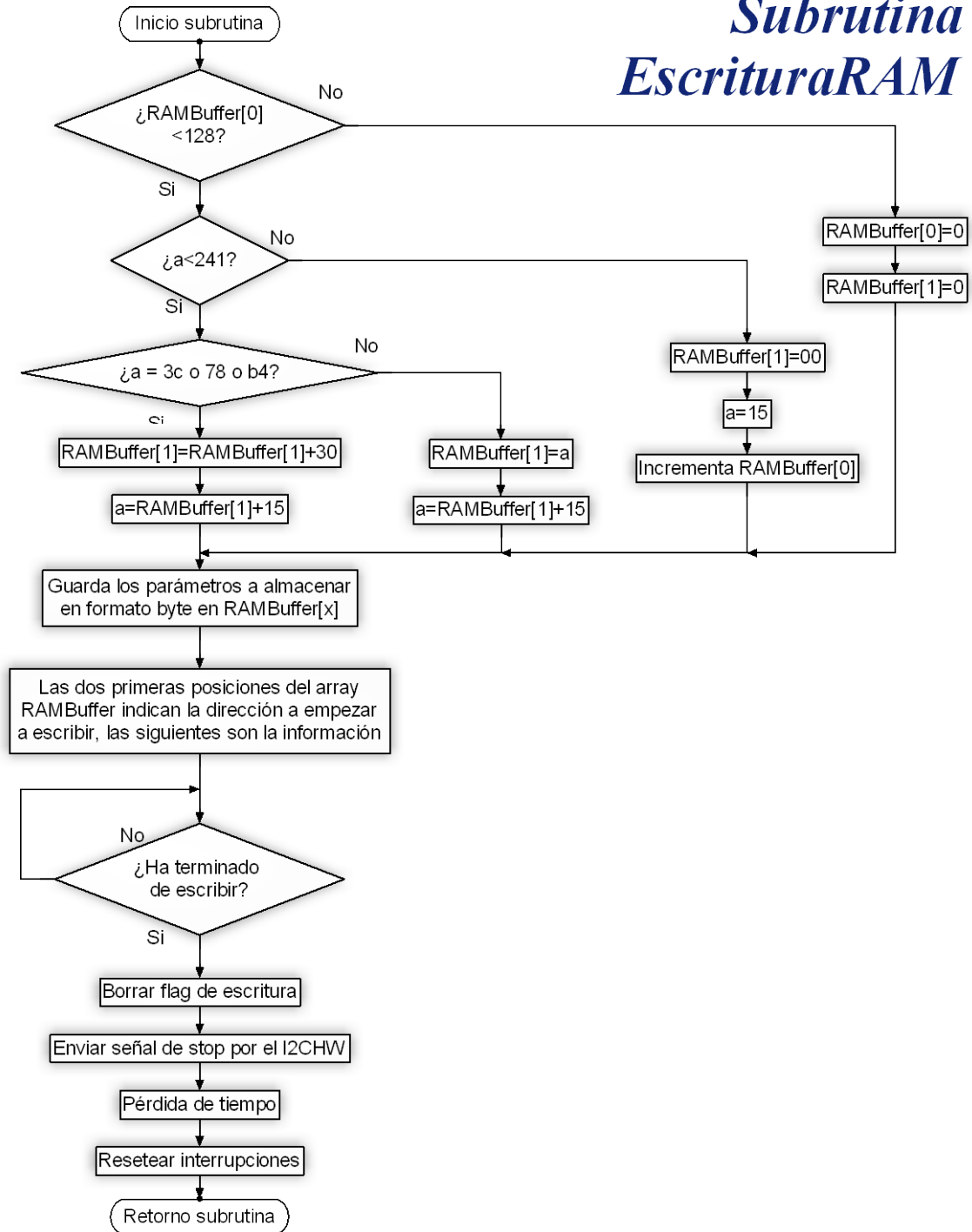
Subrutina CanalSerie



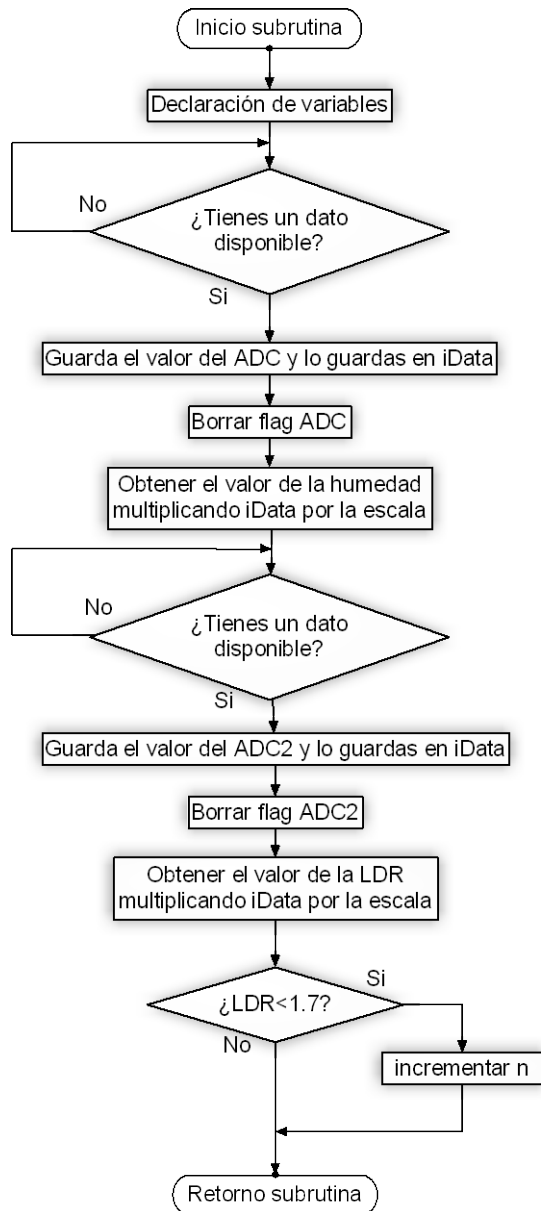
Subrutina CanalSerie



Subrutina EscrituraRAM



Subrutina LecturaADCs



ANEXO III.

FÓRMULAS EMPLEADAS

EN EL PROYECTO

$$\frac{\text{---}}{\text{-----}} \tag{1}$$

$$\text{-----} \tag{2}$$

$$\text{-----} \tag{3}$$

$$\frac{\text{-----}}{\text{-----}} \tag{4}$$

$$\frac{\text{-----} \quad \text{-----}}{\text{-----}} \tag{5}$$

$$\text{-----} \tag{6}$$

$$\text{---} \tag{7}$$

$$\text{---} \tag{8}$$

$$\text{---} \quad (9)$$

$$(10)$$

$$\text{---} \quad (11)$$

$$(12)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s. \quad (13)$$

$$\text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (14)$$

$$(15)$$

$$(16)$$

$$\text{---} \quad (17)$$

$$\text{---} \quad (18)$$

$$(19)$$

$$\text{---} \quad (20)$$

$$\text{---} \quad (21)$$

(22)

α	albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, que es 0,23 para el cultivo hipotético de referencia (adimensional),
σ	constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
λ	calor latente de vaporización, $2,45 \text{ (MJ kg}^{-1}\text{)}$
ε	cociente del peso molecular de vapor de agua /aire seco = 0,622.
γ	constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)
δ	declinación solar (rad) (Ecuación 9).
φ	latitud (rad) (Ecuación 7)
ω_s	ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol (rad)
ω_s	ángulo de radiación a la puesta del sol (rad) (Ecuación 10).
a	Distancia entre goteros de la misma línea (m)
b	Distancia entre las distintas líneas de riego (m)
Caudal real	Caudal real de riego de un gotero (l h^{-1})
C_p	calor específico a presión constante, $1,013 \times 10^{-3} \text{ (MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$
C_r	Caudal de riego por unidad de superficie ($\text{l m}^{-2}\text{h}^{-1}$)
C_r	Caudal de riego por unidad de superficie ($\text{l m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)
d_r	distancia relativa inversa Tierra-Sol (Ecuación 8)
$e^\circ(T)$	presión de saturación de vapor a la temperatura del aire, T (kPa)
$e^\circ(T_{\max})$	presión de saturación de vapor a la temperatura máxima diaria (kPa)
$e^\circ(T_{\min})$	presión de saturación de vapor a la temperatura mínima diaria (kPa)
e_a	presión real de vapor (kPa)
e_s	presión de vapor de saturación (kPa)
$e_s - e_a$	déficit de presión de vapor (kPa)
ET_0	evapotranspiración de referencia (mm día^{-1})
ET_c	evapotranspiración del cultivo (mm día^{-1})
G	flujo del calor de suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
G_{sc}	constante solar ($0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$)
HR_{\max}	humedad relativa máxima (%)
HR_{\min}	humedad relativa mínima (%)
n	duración real de la insolación (horas)

P	presión atmosférica (kPa)
R _a	radiación extraterrestre (MJ m ⁻² día ⁻¹)
R _n	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
R _{nl}	Radiación neta de onda larga (MJ m ⁻² día ⁻¹)
R _{ns}	radiación neta solar o de onda corta (MJ m ⁻² día ⁻¹)
R _s	radiación solar entrante (MJ m ⁻² día ⁻¹).
R _s	radiación solar medida o calculada (Ecuación 11) (MJ m ⁻² día ⁻¹)
R _s	radiación solar o de onda corta (MJ m ⁻² día ⁻¹)
R _s /R _{so}	radiación relativa de onda corta (valores ≤ 1,0)
R _{so}	radiación en un día despejado. (Ecuación 12) (MJ m ⁻² día ⁻¹)
T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
T _{max,K}	temperatura máxima absoluta durante un periodo de 24 horas (K = °C + 273,16)
T _{min,K}	temperatura mínima absoluta durante un periodo de 24 horas (K = °C + 273,16)
T _r	Tiempo de riego (h día ⁻¹)
u ₂	velocidad del viento a 2 m de altura (m s ⁻¹)
z	Elevación sobre el nivel del mar (m)
γ	constante psicrométrica (kPa °C ⁻¹)
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C ⁻¹)

ANEXO IV.

TABLAS K_c

Cultivo	Inic. (L _{ini})	Des. (L _{fin})	Med (L _{med})	Final (L _{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
a. Hortalizas Pequeñas							
Brécol (Brócoli)	35	45	40	15	135	Sept.	Calif. Desierto, EU
Repollo	40	60	50	15	165	Sept.	Calif. Desierto, EU
Zanahoria	20	30	50/30	20	100	Oct/Ene.	Clima Árido
	30	40	60	20	150	Feb/Mar.	Mediterráneo
	30	50	90	30	200	Oct.	Calif. Desierto, EU
Coliflor	35	50	40	15	140	Sept	Calif. Desierto, EU
Aplo (Céleri)	25	40	95	20	180	Oct.	(Semi)Árido
	25	40	45	15	125	Abril	Mediterráneo
	30	55	105	20	210	Ene.	(Semi)Árido
Crucíferas ¹	20	30	20	10	80	Abril	Mediterráneo
	25	35	25	10	95	Febrero	Mediterráneo
	30	35	90	40	195	Oct/Nov.	Mediterráneo
Lechuga	20	30	15	10	75	Abril.	Mediterráneo
	30	40	25	10	105	Nov/Ene.	Mediterráneo
	25	35	30	10	100	Oct/Nov.	Región Árida
	35	50	45	10	140	Feb.	Mediterráneo
Cebolla (seca)	15	25	70	40	150	Abril	Mediterráneo
	20	35	110	45	210	Oct; Ene.	Región Árida; Calif.
Cebolla (verde)	25	30	10	5	70	Abril/Mayo	Mediterráneo
	20	45	20	10	95	Octubre	Región Árida
	30	55	55	40	180	Marzo	Calif., EU
Cebolla (semilla)	20	45	165	45	275	Sept.	Calif. Desierto, EU
Espinaca	20	20	15/25	5	60/70	Abr; Sep/Oct	Mediterráneo
	20	30	40	10	100	Noviembre	Región Árida
Rábano	5	10	15	5	35	Mar/Abr.	Medit.; Europa
	10	10	15	5	40	Invierno	Región Árida
b. Hortalizas – Familia de las Solanáceas							
Berenjena	30	40	40	20	130\140	Octubre	Región Árida
	30	45	40	25		May/Junio	Mediterráneo
Pimiento Dulce (campana)	25/30	35	40	20	125	Abril/Junio	Europa y Medit.
	30	40	110	30	210	Octubre	Región Árida
Tomate	30	40	40	25	135	Enero	Región Árida
	35	40	50	30	155	Abr/Mayo	Calif., EU
	25	40	60	30	155	Enero	Calif. Desierto, EU
	35	45	70	30	180	Oct/Nov.	Región Árida
	30	40	45	30	145	Abril/Mayo	Mediterráneo
c. Hortalizas - Familia de las Cucurbitáceas							
Melón	30	45	35	10	120	Enero	Calif., EU
	10	60	25	25	120	Ago.	Calif., EU
Pepino	20	30	40	15	105	Junio/Ago.	Región Árida
	25	35	50	20	130	Nov; Feb.	Región Árida
Calabaza de invierno	20	30	30	20	100	Mar, Ago.	Mediterráneo
	25	35	35	25	120	Junio	Europa
Calabacín (zucchini)	25	35	25	15	100	Abr; Dic.	Medit.; Reg. Árida
	20	30	25	15	90	May/Junio	Medit.; Europa

Tabla 1. Valores de K_c para las cuatro etapas de cultivo.

Cultivo	Inic. (L _{in})	Des. (L _{des})	Med. (L _{med})	Final (L _{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
Melón Dulce	25	35	40	20	120	Mayo	Mediterráneo
	30	30	50	30	140	Marzo	Calif., EU
	15	40	65	15	135	Ago	Calif. Desierto, EU
	30	45	65	20	160	Dic/Ene.	Región Árida
Sandía	20	30	30	30	110	Abril	Italia
	10	20	20	30	80	May/Ago.	Cercano Este (desierto)
d. Raíces y Tubérculos							
Remolacha, mesa	15	25	20	10	70	Abr/Mayo	Mediterráneo
	25	30	25	10	90	Feb/Mar.	Mediterráneo & Árido
Mandioca o Yuca:	20	40	90	60	210	Período	Regiones Tropicales
	año 1					Lluvioso	
	año 2	150	40	110	360		
Patata o Papa	25	30	30/45	30	115/130	Ene/Nov.	Clima (Semi)Árido
	25	30	45	30	130	Mayo	Clima continental
	30	35	50	30	145	Abril	Europa
	45	30	70	20	165	Abr/Mayo	Idaho, EU
	30	35	50	25	140	Dic.	Calif. Desierto, EU
Camote o Batata	20	30	60	40	150	Abril	Mediterráneo
	15	30	50	30	125	Período Lluvioso	Regiones Tropicales
Remolacha azucarera	30	45	90	15	180	Marzo	Calif., EU
	25	30	90	10	155	Junio	Calif., EU
	25	65	100	65	255	Sept.	Calif. Desierto, EU
	50	40	50	40	180	Abril	Idaho, EU
	25	35	50	50	160	Mayo	Mediterráneo
	45	75	80	30	230	Noviembre	Mediterráneo
	35	60	70	40	205	Noviembre	Regiones Áridas
e. Leguminosas (Leguminosae)							
Judías, o Frijoles (verdes)	20	30	30	10	90	Feb/Mar.	Calif., Mediterráneo
	15	25	25	10	75	Ago/Sep.	Calif., Egipto, Líbano
Judías o Frijoles (secos)	20	30	40	20	110	May/Junio	Climas Continentales
	15	25	35	20	95	Junio	
	25	25	30	20	100	Junio	
Habas	15	25	35	15	90	Mayo	Europa
	20	30	35	15	100	Mar/Abr	Mediterráneo
	90	45	40	60	235	Nov.	Europa
	90	45	40	0	175	Nov.	Europa
Caupis (cowpeas)	20	30	30	20	110	Marzo	Mediterráneo
Cacahuete o Maní	25	35	45	25	130	Período seco	Oeste de África
	35	35	35	35	140	Mayo	Latitudes Altas
	35	45	35	25	140	May/Junio	Mediterráneo
Lentejas	20	30	60	40	150	Abril	Europa
	25	35	70	40	170	Oct/Nov.	Región Árida
Guisantes o arveja	15	25	35	15	90	Mayo	Europa
	20	30	35	15	100	Mar/Abr.	Mediterráneo
	35	25	30	20	110	Abril	Idaho, EU
Soya o soja	15	15	40	15	85	Dic.	Trópicos
	20	30/35	60	25	140	Mayo	Centro de EU
	20	25	75	30	150	Junio	Japón

Tabla 2. Valores de K_c y periodos de siembra en función de la región, (continuación).

Cultivo	Inic. (L _{inc})	Des. (L _{des})	Med (L _{med})	Final (L _{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
f. Hortalizas perennes (con letargo invernal y suelo inicialmente desnudo o con mantillo)							
Alcachofa	40 20	40 25	250 250	30 30	360 325	Abr. (1 ^{er} año) May. (2 ^{do} año)	California (cortada en Mayo)
Espárragos	50 90	30 30	100 200	50 45	230 365	Feb. Feb.	Invierno cálido Mediterráneo
g. Cultivos textiles							
Algodón	30 45 30 30	50 90 50 50	60 45 60 55	55 45 55 45	195 225 195 180	Mar.-Mayo Marzo Sept. Abril	Egipto; Pakistán; Cal. Calif. Desierto, EU Yemen Texas
Lino	25 30	35 40	50 100	40 50	150 220	Abril Octubre	Europa Arizona
h. Cultivos oleaginosos							
Ricino	25 20	40 40	65 50	50 25	180 135	Marzo Nov.	Climas (semi) Áridos Indonesia
Cártamo	20 25 35	35 35 55	45 55 60	25 30 40	125 145 190	Abril Marzo Oct/Nov.	California, EU Latitudes Altas Región Árida
Sésamo	20	30	40	20	110	Junio	China
Girasol	25	35	45	25	130	Abril/Mayo	Medit.; California
i. Cereales							
Cebada/Avena/Trigo	15 20 15 40 40 20	25 25 30 30 60 50	50 60 65 40 60 60	30 30 40 20 40 30	120 135 150 130 200 160	Noviembre Marzo/Abril Julio Abril Noviembre Diciembre	India Central 35-45 °L Este de África
Trigo de Invierno	20 ² 30 160	60 ² 140 75	70 40 75	30 30 25	180 240 335	Diciembre Noviembre Octubre	Calif.; EU Mediterráneo Idaho, EU
Granos (pequeños)	20 25	30 35	60 65	40 40	150 165	Abril Oct./Nov.	Mediterráneo Pakistán; Reg. Árida
Maíz (grano)	30 25 20 20 30 30	50 40 35 35 40 40	60 45 40 40 50 50	40 30 30 30 30 50	180 140 125 125 150 170	Abril Dic./Ene. Junio Octubre Abril Abril	Este de África (alt.) Clima Árido Nigeria (húmedo) India (seco, frío) España (prim, ver); Calif. EU Idaho, EU
Maíz (dulce)	20 20 20 30 20	20 25 30 30 40	30 25 50/30 30 70	10 10 10 10 ³ 10	80 80 90 110 140	Marzo May./Junio Oct./Dic. Abril Ene.	Filipinas Mediterráneo Clima Árido Idaho, EU Calif. Desierto, EU
Mijo	15 20	25 30	40 55	25 35	105 140	Junio Abril	Pakistán Centro de EU

Tabla 3. Valores de K_c y periodos de siembra en función de la región, (continuación).

Cultivo	Inic. (L _{in})	Des. (L _{des})	Med. (L _{med})	Final (L _{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
Sorgo	20 20	35 35	40 45	30 30	125 130	Mayo/Jun. Mar/Abril	EU, Pakistán., Med. Región Árida
Arroz	30 30	30 30	60 80	30 40	150 180	Dic; Mayo Mayo	Trópicos; Mediterráneo Trópicos
j. Forrajes							
Alfalfa, temporada completa ^a	10	30	varía	varía	varía		último -4°C (primavera) hasta primer -4°C (otoño)
Alfalfa ^a 1er ciclo de corte	10 10	20 30	20 25	10 10	60 75	Enero Abril (último -4°C)	Calif., EU. Idaho, EU.
Alfalfa ^a , otros ciclos de corte	5 5	10 20	10 10	5 10	30 45	Marzo Junio	Calif., EU. Idaho, EU.
Bermuda para Semilla	10	25	35	35	105	Marzo	Calif. Desierto, EU
Bermuda, heno (distintos cortes)	10	15	75	35	135	---	Calif. Desierto, EU
Pastos, Gramas ^a	10	20	--	--	--		7 días antes del último - 4°C (primavera) hasta 7 días después del primer -4°C (otoño)
Pasto del Sudán, 1er corte	25	25	15	10	75	Abril	Calif. Desierto, EU
Sudán, otros ciclos de corte	3	15	12	7	37	Junio	Calif. Desierto, EU
k. Caña de Azúcar							
Caña de Azúcar, virgen	35 50 75	60 70 105	190 220 330	120 140 210	405 480 720		Latitudes Bajas Trópicos Hawai, EU
Caña de Azúcar, soca	25 30 35	70 50 105	135 180 210	50 60 70	280 320 420		Latitudes Bajas Trópicos Hawai, EU
l. Frutas Tropicales y Árboles							
Banana, 1 ^{er} año	120	90	120	60	390	Marzo	Mediterráneo
Banana, 2 ^{do} año	120	60	180	5	365	Feb.	Mediterráneo
Piña	60	120	600	10	790		Hawai, EU
m. Uvas y Moras							
Uvas	20 20 20 30	40 50 50 60	120 75 90 40	60 60 20 80	240 205 180 210	Abril Marzo Mayo Abril	Latitudes Bajas Calif., EU Latitudes Altas Latitudes Medias (vino)
Lúpulo	25	40	80	10	155	Abril	Idaho, EU
n. Árboles Frutales							
Cítricos	60	90	120	95	365	Ene.	Mediterráneo
Huerto de árboles caducifolios	20 20 30	70 70 50	90 120 130	30 60 30	210 270 240	Marzo Marzo Marzo	Latitudes Altas Latitudes Bajas Calif., EU

Tabla 4. Valores de K_c y periodos de siembra en función de la región, (continuación).

Cultivo	Inic. (L _{inc})	Des. (L _{des})	Med. (L _{med})	Final (L _{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
Olivos	20	90	60	90	270 ^s	Marzo	Mediterráneo
Pistachos	20	60	30	40	150	Feb.	Mediterráneo
Nogal (nueces)	20	10	130	30	190	Abril	Utah, EU
o. Humedales – Climas Templados							
Humedales (Anea, Junco)	10 180	30 60	80 90	20 35	140 365	Mayo Noviembre	Utah, EU; heladas Florida, EU
Humedales (veg. baja)	180	60	90	35	365	Noviembre	Clima sin heladas

Tabla 5. Valores de K_c y periodos de siembra en función de la región,
(continuación).

Todas las tablas y fórmulas aquí mostradas se encuentran en la referencia [3] de la memoria.